

# MULTICRITERIA ANALYSES FOR THE PRODUCTION OF VITICULTURAL SUITABILITY MAPS OF SARDINIA

## ANALISI MULTICRITERIALI PER LA PRODUZIONE DELLE CARTE DI VOCAZIONALITÀ VITICOLA DELLA SARDEGNA

Ana Fernandes de Oliveira<sup>1</sup>, Simone Cossu<sup>1</sup>, Alessandro Marrone<sup>2</sup>, Rita Puddu<sup>2</sup>, Stefania Fanni<sup>2</sup>, Michele Fiori<sup>3</sup>, Daniela Satta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AGRIS Sardegna, Servizio Ricerca nell'Arboricoltura, Via De Martini, 244 – 07100 Sassari

<sup>2</sup> AGRIS Sardegna, Servizio Ricerca studi ambientali, difesa delle colture e qualità delle produzioni, Viale Trieste, 111 – 09123 Cagliari

<sup>3</sup> ARPAS Sardegna, Dipartimento Meteorologico - Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi, Viale Porto Torres, 119 – 07100 Sassari

\* [afoliveira@agrisricerca.it](mailto:afoliveira@agrisricerca.it)

### Abstract

In this study, an integrated analysis of the main agrometeorological and pedological factors for viticultural suitability in Sardinia, Italy, was carried out. The multicriteria suitability model included indexing and classifying bioclimatic factors (Huglin, dryness, and cool nights), based on high-resolution (40 m) climate maps of current climatology (1981-2010), and of soil's stationary, physical-structural, and chemical factors, using the soil and salinity maps, the digital terrain model, and the Corine Land Cover (2018) as input datasets. The categorization in composite bioclimatic and pedological indices allowed for representing viticultural suitability and providing an overall picture of Sardinia's viticultural agroclimatic resources and limitations. Finally, homogeneous suitability zones were delimited for the Nurra, Gallura, Jerzu – Cardedu – Bari Sardo and Parteolla – Settimo S. Pietro study areas through clustering techniques, applied to the multicriteria viticultural maps.

### Parole chiave

Zonazione viticola, indicizzazione bioclimatica; attitudine pedologica, mappe multicriteriali; aree cluster

### Keywords

Viticultural zoning; bioclimatic indexing; soil suitability; multicriteria maps; cluster areas

### Introduzione

La valutazione dell'attitudine agricola di un territorio per mezzo di metodi di *land suitability evaluation* (FAO, 1981) viene utilizzata per determinarne l'utilizzo più idoneo, per la pianificazione e la gestione efficiente e sostenibile delle risorse, tenendo conto dei fattori pedoclimatici e socio-economici locali e classificando l'attitudine alla coltivazione in funzione delle esigenze della specie, delle limitazioni ambientali nel contesto socio-culturale locale (Stanchi et al., 2013). Nelle regioni con tradizione viticola, l'approccio alla pianificazione culturale è associato alla delimitazione geografica degli areali vitivinicoli (IGT, DOC o DOCG) e al concetto di terroir (Vaudour et al., 2015). Gli attuali sistemi GIS e di telerilevamento mettono oggi a disposizione una enorme quantità di dati utili alla caratterizzazione multicriteriale (Bollati et al., 2015) del territorio e del clima, e consentono di incrementare il dettaglio e l'accuratezza dei modelli di valutazione della vocazionalità culturale a differenti scale spazio-temporali (Rossi et al., 2022). Queste tecnologie sono utilizzate per delimitare l'attitudine viticola tramite criteri precisi di attitudine in differenti macroaree del mondo viticolo (Del Rio et al., 2021; Malheiro et al., 2010). Tuttavia, la resilienza dei sistemi viticoli, la produttività e la qualità delle produzioni, non sono immutabili ma bensì sono modellate dal cambiamento climatico, del *landscape* e dell'uso del suolo (Fonseca et al., 2024). Per affrontare al meglio le sfide del *global change* nella viticoltura e supportare la pianificazione e le decisioni dei viticoltori, si rende sempre più necessario caratterizzare gli areali in

funzione delle esigenze della specie o varietà e delle risorse che il territorio offre e che maggiormente influenzano la crescita, lo sviluppo e la perennità della vite (Costa et al., 2019; Fraga et al., 2020). Il principale obiettivo di questo lavoro è quello di caratterizzare la vocazionalità viticola della Sardegna e differenziare le specificità pedo-climatiche di alcune delle sue principali aree vitivinicole.

### Materiali e Metodi

Il modello di vocazionalità creato fornisce differenti livelli informativi e si basa sulle carte di attitudine bioclimatica e pedologica per la coltivazione della vite in Sardegna (<http://gisdev.crs4.it/sardinialands2023/documents/>). Nella scelta degli indici agrometeorologici e dei fattori pedologici più efficaci per caratterizzare disponibilità e limitazioni del territorio (Bucelli & Costantini, 2006), sono state rispettate le premesse delle analisi climatologiche e dei modelli di *Land Suitability Evaluation* (FAO, 1981). Gli indici selezionati sono stati testati nel contesto attuale, classificando tramite “*matching tables*” le disponibilità climatiche e pedologiche in funzione dei requisiti della specie. La climatologia attuale (periodo 1981-2010), derivata dalla rete di stazione meteorologiche ARPAS, è stata impiegata nell'analisi. Sono stati calcolati i valori mensili e annuali di temperature e di precipitazioni, e tramite tecniche di interpolazione sono state realizzate mappe climatiche e di indici bioclimatici ad alta risoluzione (40 m).

Gli indici individuati indicano, con un'elevata precisione, l'influenza del clima sui decorsi fenologici, sull'efficienza fisiologica e sulla produttività della vite (Malheiro et al., 2010; Hall & Jones, 2010; Costa et al., 2019). Pertanto, sono in grado di evidenziare la frazione di variabilità che impatta in modo significativo la crescita vegetativa e la produttività di queste specie arboree. Il tempo termico è stato quantificato con l'indice eliotermico di Huglin, HI (Huglin, 1878). Le disponibilità idriche, durante il ciclo vegetativo, sono state descritte tramite l'indice di siccità (*dryness index*) di Riou, DI (Riou et al., 1994). Nella stima, l'evapotraspirazione potenziale è stata calcolata su base mensile seguendo il metodo di Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985). Per ultimo, si è tenuto conto dell'indice di freschezza delle notti (*cool night index*, CN), proposto da Tonietto & Carbonneau (2004) per fornire una misura del potenziale di maturazione dell'uva. La definizione dei requisiti dell'uso viticolo del suolo e il rilevamento delle qualità che il territorio offre per soddisfare tali requisiti ha seguito il metodo della *Land Suitability Evaluation* (FAO, 1976), utilizzando come fonti di informazione geografica la carta dei suoli della Sardegna in scala 1:250.000 (Aru et al., 1991), la carta della distribuzione dei suoli a differente grado di salinità (Puddu et al., 2008), il *digital elevation model* della Regione Autonoma della Sardegna e la *Corine Land Cover* 2018. La figura 1 presenta il flussogramma metodologico e i dataset utilizzati. La categorizzazione di ciascun indice in un numero ridotto di classi (i.e. *range* degli indici bioclimatici e di attitudine pedologica) ha permesso di discriminare la complessità dei bioclimi e delle unità di suolo, rappresentate sulle mappe dei singoli indici e/o tramite l'aggregazione in un indice bioclimatico composito e tre indici pedologici compositi – stazionale, fisico-strutturale e chimico. Successivamente sono state analizzate nel dettaglio quattro macroaree viticole distinte: Gallura, Nurra, Parteolla – Settimo S. Pietro e Jerzu – Cardedu – Bari Sardo, e tramite tecniche di clustering in ambiente GIS (*unsupervised k-means algorithm*), sono state identificate zone di attitudine viticola omogenea (ZO) all'interno delle aree ad uso agricolo (SAU), individuate condizioni ottimali per la viticoltura e condizioni per cui la coltivazione può essere soggetta a rischio bioclimatico e/o pedologico.

## Risultati e Discussione

Attualmente, in Sardegna, è possibile individuare 40 classi bioclimatiche vitivinicole composite (Fernandes de Oliveira et al., 2022). Molte aree mostrano decorsi termici tipici delle zone temperate-calde (Fig. 1) e soltanto l'1% dell'isola presenta condizioni troppo fredde per la viticoltura. Il fabbisogno irriguo è elevato per 57% del territorio, a causa di limitate precipitazioni durante il ciclo vegetativo della vite. Il 41% del territorio è classificato come moderatamente secco e in gran parte delle macroaree della Gallura, della Nurra e del Parteolla predominano condizioni di deficit idrico durante la maturazione. Le temperature notturne a maturazione variano da temperate a calde e gli areali con maggiore incidenza di notti fresche si trovano nella Gallura e a Jerzu. Una ridotta percentuale della regione (ca. 5%),

sulle coste centro-meridionali, registra temperature notturne estive capaci di limitare parzialmente il potenziale aromatico e/o fenolico delle uve (Malheiro et al., 2010). I suoli della Sardegna presentano elevata o media attitudine alla coltivazione della vite per fattori stazionali (i.e. quota, pendenza, quota, esposizione, erosione e rocciosità), rispettivamente, in ca. il 15% e il 35% delle SAU (Fig. 1). Tuttavia, ca. 38% delle aree sono da considerarsi di bassa e/o assente attitudine per fattori stazionali. L'attitudine per fattori fisico-strutturali (i.e. profondità utile alle radici, orizzonte calcico e petrocalcico; tessitura del topsoil e drenaggio interno) varia fra classi da alta a bassa (29%), a media (17%) o bassa (32%) e, per quanto riguarda i fattori chimici del suolo (i.e. reazione del topsoil, salinità del topsoil e calcare totale), l'attitudine è alta o media nella maggior parte delle SAU (66%) e varia, per un minore percentuale di SAU, da media a media – bassa (23%). La classificazione non ha tenuto conto di fattori di coltivabilità come l'acqua utilizzabile del suolo e la profondità della falda acquifera, per i quali l'interpolazione sull'intero territorio ad ampia scala richiede l'utilizzo di modelli di simulazione idrogeologica e del flusso di falda, la creazione di una fitta rete di osservazione e la validazione, con la raccolta di dati in pieno campo, su suolo e sottosuolo (Condon et al., 2021). Ciononostante, lo studio di vocazionalità ha fornito un quadro dettagliato e completo dell'attitudine viticola degli areali agricoli della Sardegna. L'analisi dei cluster omogenei ha permesso di individuare e descrivere aree molto differenti e quantificare gli aspetti più discriminanti della variabilità delle risorse ambientali per la viticoltura (Tabelle 1 e 2). Nella Gallura e nella Nurra (Fig. 2) sono state individuate 4 ZO, mentre nel Parteolla – Settimo S. Pietro e a Jerzu – Cardedu – Bari Sardo (Fig. 3) ne sono state identificate 2. La tabella 1 descrive le classi bioclimatiche e pedologiche dominanti nelle ZO e la tabella 2 illustra la distribuzione di classi di suscettibilità a fattori di rischio pedoclimatico. Nella Gallura predomina la ZO 4, da temperata a calda, da secca a moderatamente secca e con notti temperate e, in alcuni casi, moderatamente calde a maturazione (Tab. 2). Il suolo presenta elevata vocazionalità chimica e fisico-strutturale ed è mediamente vocato per fattori stazionali. Nella ZO 3 (ca. l'11% delle SAU di questa regione) l'attitudine chimica e fisico-strutturale del suolo è da media a bassa e la suscettibilità pedoclimatica è correlata a fattori stazionali. Nella Nurra ca. il 76% delle SAU sono temperate calde e molto secche durante il ciclo vegetativo della vite, con notti temperate e talvolta moderatamente calde a maturazione. La vocazionalità dei suoli nella ZO 1 varia da alta a media per fattori chimici ed è media per quelli stazionali. Tuttavia, molte aree presentano da media a bassa attitudine fisico-strutturale e questo è un fattore di rischio da non trascurare nelle scelte d'impianto, poiché si tratta di una regione con importante fabbisogno irriguo nelle fasi di crescita e maturazione dei frutti. La ZO 3 della Nurra è caratterizzata da elevate disponibilità termiche per i decorsi fenologici.

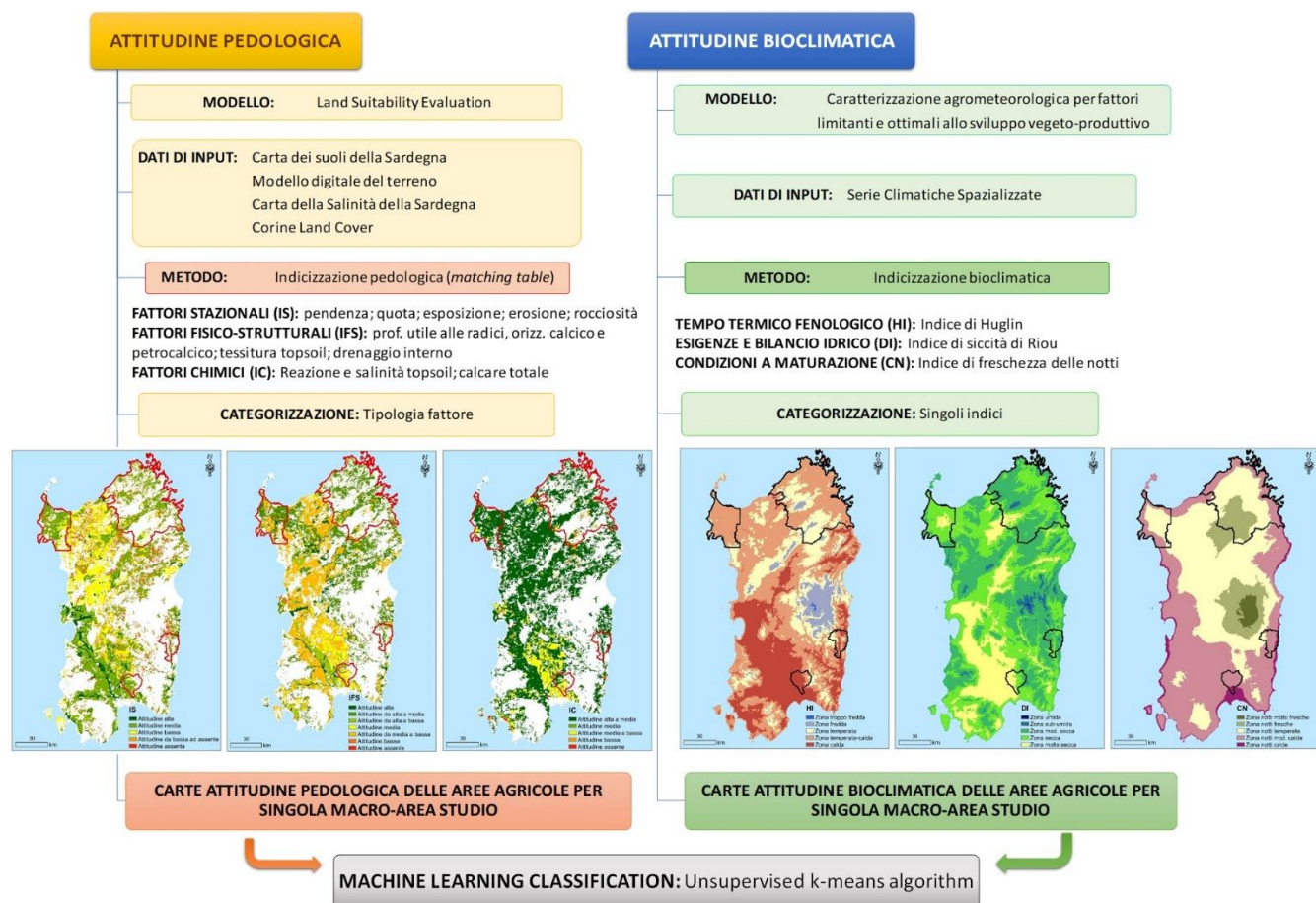


Fig.1 - Flussogramma metodologico utilizzato per la valutazione della vocazionalità pedoclimatica delle aree agricole per la coltivazione della vite in Sardegna.

Fig.1 – Methodological flowchart used for the assessment of climate and soil suitability of agricultural areas for viticulture in Sardinia.

| Areale                       | Attitudine bioclimatica |                  |     | Attitudini pedologica |               |     |
|------------------------------|-------------------------|------------------|-----|-----------------------|---------------|-----|
|                              | Indici                  | Classe           | (%) | Indici                | Classe        | (%) |
| <b>Gallura</b>               | HI                      | Temperata        | 23  | IC                    | Alta a media  | 99  |
| ZO 4 (56)                    |                         | Temperata calda  | 77  | IFS                   | Alta a media  | 99  |
|                              | DI                      | Molto secca      | 62  | IS                    | Media         | 96  |
|                              |                         | Mod. secca       | 38  |                       |               |     |
|                              | CN                      | Notti mod. calde | 22  |                       |               |     |
| <b>Nurra</b>                 |                         | Notti temperate  | 65  |                       |               |     |
|                              | HI                      | Temperata calda  | 100 | IC                    | Alta a media  | 89  |
|                              | DI                      | Molto secca      | 76  | IFS                   | Media a bassa | 88  |
|                              | CN                      | Notti temperate  | 61  | IS                    | Media a bassa | 76  |
| <b>Jerzu Cardedu</b>         |                         | Notti mod. calde | 39  |                       |               |     |
|                              | HI                      | Calda            | 63  | IC                    | Alta a media  | 100 |
|                              |                         | Temperata calda  | 33  | IFS                   | Media         | 45  |
|                              | DI                      | Mod. secca       | 51  | IS                    | Media a bassa | 59  |
| <b>Barì Sardo</b>            |                         | Molto secca      | 49  |                       |               |     |
|                              | CN                      | Notti mod. calde | 49  |                       |               |     |
|                              | HI                      | Calda            | 98  | IC                    | Media         | 57  |
|                              | DI                      | Mod. secca       | 30  | IFS                   | Media a bassa | 74  |
| <b>Parteolla S.S. Pietro</b> |                         | Molto secca      | 70  |                       | Alta          | 13  |
|                              | CN                      | Notti mod. calde | 82  |                       | Alta a media  | 13  |
|                              |                         | Notti calde      | 18  | IS                    | Alta a media  | 13  |
|                              |                         |                  |     |                       | Media         | 77  |

Tab.1 – Zone omogenee predominanti sulla superficie agricola (%SAU) delle 4 aree studio e principali classi di attitudine bioclimatica e pedologia.

Tab.1 – Homogeneous zones predominant in the agricultural area (%SAU) of the four study areas and main bioclimatic and pedological suitability classes.

Tab.2 – Zone omogenee con maggior suscettibilità in Gallura, Nurra e Parteolla – Settimo S. Pietro e principali classi di altitudine bioclimatica e pedologia.

Tab.2 – Homogeneous zones with increased susceptibility in Gallura, Nurra and Parteolla – Settimo S. Pietro and main bioclimatic and pedological suitability classes.

| Areale<br>ZO (%SAU)                   | Attitudine bioclimatica |                  |     | Attitudine pedologica |                  |     |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------|-----|-----------------------|------------------|-----|
|                                       | Indici                  | Classe           | (%) | Indici                | Classe           | (%) |
| Gallura<br>ZO 3 (11)                  | HI                      | Temperata        | 58  | IC                    | Media a bassa    | 96  |
|                                       |                         | Temperata calda  | 41  | IFS                   | Media a bassa    | 73  |
|                                       | DI                      | Molto secca      | 25  |                       | Bassa ad assente | 16  |
|                                       |                         | Mod. secca       | 74  | IS                    | Bassa ad assente | 95  |
|                                       | CN                      | Notti fresche    | 31  |                       |                  |     |
|                                       |                         | Notti temperate  | 55  |                       |                  |     |
| Nurra<br>ZO 4 (14)                    | HI                      | Temperata calda  | 97  | IC                    | Alta a media     | 100 |
|                                       | DI                      | Molto secca      | 62  | IFS                   | Alta a media     | 96  |
|                                       |                         | Mod. secca       | 28  | IS                    | Bassa            | 64  |
|                                       | CN                      | Notti temperate  | 65  |                       | Bassa ad assente | 21  |
|                                       |                         | Notti mod. calde | 35  | IC                    | Alta a media     | 100 |
| Parteolla<br>S.S. Pietro<br>ZO 2 (30) | HI                      | Calda            | 97  | IC                    | Alta a media     | 99  |
|                                       | DI                      | Molto secca      | 82  | IFS                   | Bassa            | 99  |
|                                       | CN                      | Notti mod. calde | 97  | IS                    | Alta a media     | 76  |
|                                       |                         |                  |     |                       | Bassa            | 18  |
|                                       |                         |                  |     |                       | Bassa ad assente | 6   |

Le condizioni di siccità e notti da temperate a moderatamente calde a maturazione possono limitare la crescita e la maturazione dei frutti. In questo caso però, i suoli sono fertili e con buone condizioni fisico-strutturali e chimiche, e quindi in grado di garantire un buon sviluppo radicale, la riserva idrica necessaria per la gran parte del ciclo vegetativo e consentire buona efficienza irrigua. Negli areali più meridionali di Jerzu, Cardedu – Barì Sardo e Parteolla – S. S. Pietro il bioclima è da caldo a temperato-caldo e da moderatamente secco a molto secco e l’attitudine chimica dei suoli è alta nei primi e media a bassa nei secondi. I fattori limitanti riguardano la siccità estiva e l’occorrenza di temperature elevate a maturazione, la cui frequenza sembra essersi intensificata negli anni più recenti, con ondate di calore estivo prolungate. Per far fronte a questi eventi e contrastare l’effetto combinato di stress idrico e termico sui sistemi viticoli più esposti, è fondamentale ottimizzare i sistemi di irrigazione e adottare strategie irrigue di precisione nei periodi di carenza idrica, quando questi coincidono con fenofasi chiave del vigneto (Ojeda, 2007). La scelta di cultivar e portinnesti tolleranti a condizioni di stress abiotico è basilare per garantire resa e qualità nell’hotspot climatico del Mediterraneo (Van Leeuwen et al., 2024).

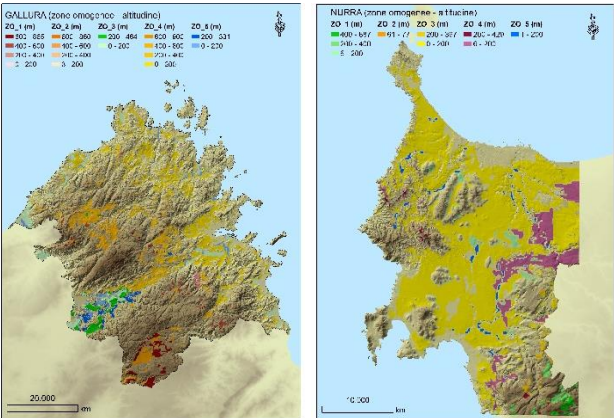


Fig.2 - Mappa delle zone omogenee per la viticoltura in Gallura e Nurra, distribuite su classi di altitudine.

Fig.2 - Map of homogeneous zones for viticulture in Gallura and Nurra macro-areas, distributed over altitude classes.

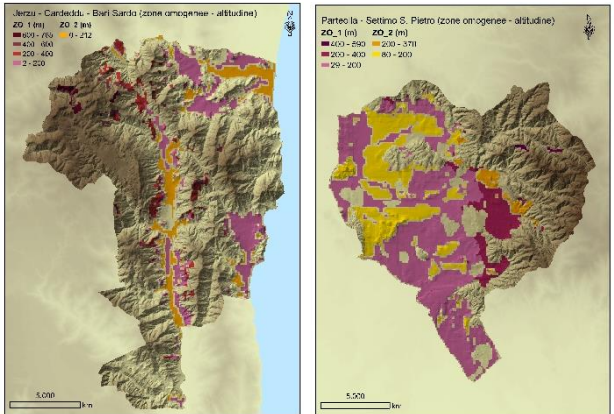


Fig.3 - Mappa delle zone omogenee per la viticoltura in Jerzu – Cardedu – Barì Sardo e Parteolla – Settimo S. Pietro, distribuite su classi di altitudine.

Fig.3 - Map of homogeneous zones for viticulture in Jerzu –Cardedu – Barì Sardo and Parteolla – Settimo S. Pietro macro-areas, distributed over altitude classes.

La resilienza vitivinicola di questi areali è fortemente legata alla plasticità di adattamento delle varietà tradizionali. Lo spostamento degli appezzamenti vitati su zone collinari di maggior altitudini, rispetto alla coltivazione in pianura, è opportuno soprattutto quando le cultivar sono più sensibili a stress idrico e da calore (Fernandes de Oliveira et al., 2024).

Le figure 2 e 3 mostrano la delimitazione delle ZO e la loro distribuzione su range di altitudine. Di fatto, gli effetti della latitudine, dell’altitudine e della distanza dal mare sono alla base della discriminazione bioclimatica degli areali viticoli all’interno della regione, infatti le principali variazioni sono governate da questi fattori (Hall & Jones, 2010). Perciò, la rappresentazione su classi di altitudine dà una indicazione sulla variabilità all’interno delle ZO e sulle potenzialità di espansione dei vigneti su differenti quote o esposizioni.

## Conclusioni

Il metodo di valutazione della vocazionalità pedoclimatica utilizzato in questo lavoro consente di descrivere, in maniera oggettiva, le differenze attitudinali all'interno delle aree studio della Sardegna. Gli indici categorizzati rispecchiano, indirettamente, le esigenze delle cultivar e il loro adattamento al territorio, dettati da specifiche caratteristiche fisiologiche e fenologiche. Il modello è in grado di riflettere suscettibilità degli areali viticoli a fattori pedoclimatici limitanti. Allo stesso modo, sarà possibile prevedere cambiamenti di attitudine culturale dovuti a differenti scenari climatici o all'aumento della severità dei fattori di stress abiotico, quantificandone le ricadute sulla vocazionalità futura. Le analisi di omogeneità spaziale consentono di ponderare il rischio effettivo di cambiamento di tipicità a causa di specifici fattori climatici in evoluzione.

## Ringraziamenti

La ricerca è stata condotta nell'ambito del progetto ZONAS 2, finanziato dalla L.R. 07 agosto 2007: "Promozione della Ricerca Scientifica e dell'innovazione tecnologica in Sardegna" della Regione Autonoma della Sardegna.

## Bibliografia

- Aru, A., Baldaccini, P., Vacca, A., Delogu, G., Dessena, M.A., Madrau, S., Melis, R.T., Vacca, S. (1991). Nota illustrativa alla Carta dei suoli della Sardegna. Università di Cagliari, Ass. Regionale Program. Bilancio e Assetto del Territorio, 83 pp.
- Bollati, A., Molin, P., Cifelli, F., Petrangeli, A. B., Parotto, M., Mattei, M. (2015). An integrated methodology of viticultural zoning to evaluate terrains suitable for viticulture: the test area of Cesanese DOC (Latium, central Italy). *J. Wine Res.*, 26, 1-17.
- Bucelli, P., Costantini, E.A.C., 2006. Vite da vino e zonazioni vitivinicole. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.
- Condon, L.E., Kollet, S., Bierkens, M.F.P., Fogg, G.E., Maxwell, R.M., Hill, M.C. et al. (2021). Global groundwater modeling and monitoring: Opportunities and challenges. *Water Resources Research*, 57, e2020WR029500
- Costa, R., Fraga, H., Fonseca, A., García de Cortázar-Atauri, I., Val, M.C., Carlos, C., Reis S., Santos J.A. (2019). Grapevine phenology of cv. Touriga Franca and Touriga Nacional in the Douro Wine Region: modelling and climate change projections. *Agronomy* 9, 210.
- Del Río, S., Álvarez-Esteban, R., Alonso-Redondo, R., Hidalgo, C., Penas, A. (2021). A new integrated methodology for characterizing and assessing suitable areas for viticulture: A case study in Northwest Spain. *Eur. J. Agron.* 131, 126391.
- Fernandes de Oliveira, A., Piga, G.K., Najoui, S., Becca, G., Marceddu, S. Rigoldi, M.P. Satta, D., Simonetta Bagella, S., Nieddu, G. (2024). UV light and adaptive divergence of leaf physiology, anatomy and ultrastructure drive heat stress tolerance in genetically distant grapevines. *Front. Plant Sci.* (accepted).
- Fonseca, A., Cruz, J., Fraga, H., Andrade, C., Valente, J., Alves, F., Neto, A.C., Flores, R., Santos, J.A. (2024). Vineyard Microclimatic Zoning as a Tool to Promote Sustainable Viticulture under Climate Change. *Sustainability* 16, 3477.
- Food and Agriculture Organisation, FAO (1981). *Soils Bulletin* 32. Soil resources development and conservation service land and water development division. Rome.
- Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L., Santos, J.A. (2020). What is the impact of heatwaves on European viticulture? a modelling assessment. *Appl. Sci.*, 10, 3030.
- Hall A. & Jones, G. V. (2010). Spatial analysis of climate in winegrape-growing regions in Australia. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16(3), 389-404.
- Hargreaves, G.H. & Samani, Z.A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Appl. Eng. Agric.* 1, 96-99.
- Huglin P. (1978). Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *CR Acad Agr* 64,1117-1126
- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Clim. Change* 73, 319-343.
- Malheiro A.C., Santos J.A., Fraga H., Pinto J.G. (2010). Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Clim Res.* 43(3),163-177.
- Ojeda, H (2007). Irrigation qualitative de précision de la vigne. *PAV*, 7, 133-141.
- Puddu R., Fanni S., Loddo S., Manca D. (2008). La salinizzazione dei suoli nelle piane agricole della Sardegna. Distribuzione, intensità e valutazione del rischio. *AGRIS*, 80 pg., cod. ISBN 978-88-903404-1-3.
- Riou C., Becker N., Sotes-Ruiz V., Gómez-Miguel V., Carbonneau A., Panagiotou M., Calò A., Costacurta A., Castro de R., Pinto A., Lopes C., Carneiro L., Climaco P. (1994). Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. 322 pp.
- Rossi, M., Bornaetxea, T., Reichenbach, P. (2022). LAND-SUITE V1.0: a suite of tools for statistically based landslide susceptibility zonation. *Geosci. Model Dev.*, 15, 5651-5666.
- Stanchi, S. Godone, D. Belmonte, S. Freppaz, M., Galliani, C., Zanini E. (2013). Land suitability map for mountain viticulture: a case study in Aosta Valley (NW Italy), *J Maps*, 9, 367-372.
- Tonietto, J., Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agric For Meteorol.* 124, 81-97.
- Van Leeuwen, C., Seguin, G., Bois, B. et al. (2024). Climate change impacts and adaptations of wine production. *Nat Rev Earth Environ* 5, 258-275.
- Vaudour, E., Costantini, E., Jones, G.V., Mocali, S. (2015). An overview of the recent approaches to terroir functional modelling, footprinting and zoning. *SOIL*, 1, 287-312
- Wanyama D., Bunting E.L., Goodwin R., Weil N., Sabbatini P., Andersen J.A. (2020). Modeling land suitability for Vitis vinifera in Michigan using advanced geospatial data and methods. *Atmosphere*, 11, 339.